

网络出版时间:2013-08-26 17:30

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130826.1730.010.html>

基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案优选

肖 洁, 罗军刚, 张 晓

(西安理工大学 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室, 陕西 西安 710048)

【摘 要】 【目的】研究基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案优选模式, 以丰富多模型洪水预报方法。**【方法】**建立了多模型洪水预报情形下的优选指标体系, 运用基于证据可信度的 DS 证据理论合成方法进行洪水预报方案的优选, 采用新安江模型、萨克拉门托模型、水箱模型和陕北模型进行多模型洪水预报的优选, 并以东洋河为例进行模拟验证。**【结果】**在对东洋河洪水进行预报时, 新安江模型、萨克拉门托模型、水箱模型和陕北模型的可信度 ($m(M_i)$) 分别为 0.758 7, 0.906 6, 0.838 4 和 0.859 1, 多模型洪水预报方案由优到劣的次序依次为: 萨克拉门托模型、陕北模型、水箱模型、新安江模型, 因此认为采用萨克拉门托模型对应的预报方案为最优预报方案。**【结论】**基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案优选可以为决策者提供更为科学的决策, 进一步丰富和完善了多模型洪水预报方法。

【关键词】 洪水预报; 多模型; 方案优选; DS 证据理论; 指标体系

【中图分类号】 P338⁺.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)09-0193-07

DS evidence theory based scheme optimization of multi-model flood forecasting

XIAO Jie, LUO Jun-gang, ZHANG Xiao

(State Key Laboratory of Eco-Hydraulic Engineering in Shaanxi, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: 【Objective】 This study optimized the multi-model flood forecasting base on the DS evidence theory. **【Method】** Multi-model optimization index system was established, and DS evidence theory was used to conduct flood forecasting scheme optimization. Xin'anjiang Model, Sacramento Model, Tank Model and Shaanbei Model were used as examples and a Dongyang River case study was performed. **【Result】** The credibility values ($m(M_i)$) of Xin'anjiang Model, Sacramento Model, Tank Model and Shaanbei Model respectively were: 0.758 7, 0.906 6, 0.838 4 and 0.859 1, respectively. Sacramento model was the selected best forecasting scheme. **【Conclusion】** DS evidence theory based scheme optimization of multi-model flood forecasting offered policymakers more scientific decision-making information and enriched and perfected the multi-model flood forecasting method.

Key words: flood forecasting; multi-model; scheme optimization; DS evidence theory; index system

自然环境的演变及人们对自然资源的不当索取与利用, 使得近年来洪涝灾害频繁发生, 因此造成的

直接经济损失和间接经济损失也与日俱增, 并且在经济越发达的区域, 洪涝灾害所造成的损失越大。

【收稿日期】 2012-11-08

【基金项目】 国家自然科学基金项目(51109175); 水利部公益性行业科研专项(201001011); 中国博士后科学基金项目(20110490170); 陕西省科技攻关计划项目(2012K06-20); 陕西省教育厅省级重点实验室项目(12JS066); 陕西省教育厅科研计划项目(12JK0472)

【作者简介】 肖 洁(1985—), 女, 山西芮城人, 在读硕士, 主要从事多模型洪水预报研究。E-mail: jiexiao_dream@126.com

【通信作者】 罗军刚(1981—), 男, 陕西西安人, 副教授, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: jgluo@xaut.edu.cn

其间接损失还具有影响程度大、时间长、范围广以及损失的可控制性较强等特点^[1],使得洪水预报不仅要求预报精度高,而且要求方法更简便可行、结果更有利于决策,只有这样才能保证在洪灾来临时及时决策、及时应对,最大程度地保护人民群众生命财产的安全。

对于目前常用的洪水预报模型而言,不同的模型具有不同的适应性,且对于某个确定的流域,任何一个模型都不可能完全地适用,因此多模型洪水预报就成为一研究热点。蔡阳等^[2]将中间件技术应用面向 Web 的多模型洪水预报系统中,提高了组件的重用性;张刚等^[3]将洪水预报模型组件化,组建洪水预报模型的组件库,提出运用模型组件搭建预报模型,实现了变化环境下预报模型的快速搭建。上述研究均可缩短洪水的预报时间,但对于多模型预报产生的多个预报方案,决策者又究竟该相信哪一个方案,能否将其集结为一个最优的方案?前者即是多模型多方案的优选问题,而后者则是多模型多方案组合预报所要解决的问题。

多模型多目标的优选方法目前被广泛应用于管理^[4]、生产^[5]、农业^[6]和经济^[7]领域中。在水文水利中也有一些应用,如王文鹏等^[8]以确定性系数为精度评价指标对 3 种传统实时校正模型进行优选,为在线洪水预报系统实时自动识别和校正提供了一种思路;陈宁珍^[9]将多因素模糊综合评判的方法用于优选枢纽工程参数,取得了满意的效果;杨开云等^[10]在分析和归纳了影响水利工程方案优选评价指标后,提出了熵值理论与模糊建模相结合的项目评价方法,建立了基于熵权的模糊评价模型。闫毅志等^[11]应用模糊优选模型对指标的相对优属度求解,进而确定各个水电站在流域梯级开发中的位置,实例表明,该方法简单、有效,排序结果合理。总结以上应用,可知指标体系是进行方案优选及评价的前提和基础,而目前多模型洪水预报方案的优选研究中还没有一套系统全面的指标体系。为此,本研究探讨了优选指标体系的建立,并在此基础上,运用基于证据可信度的 DS 证据理论进行决策优选,以期得到科学合理、可信度高的方案优劣排序,并为多模型洪水预报方案的优选提供参考。

1 多模型预报方案优选指标体系的建立

1.1 优选指标体系建立的必要性及其选取原则

洪水预报模型的选择与评价问题涉及众多因

素,目前大多数研究只是用历史洪水数据进行模拟预测,在模型预报结果评价时没有区分“事前”与“事后”指标,为了建立一套更为客观合理的多模型洪水预报系统,有必要先建立一套合理的多模型优选指标体系。

在不同的流域条件下,由于气候、地形、地表覆盖植被类型、水文地质情况、水利工程分布及人类生产活动影响等因素不同,导致相应的影响该流域的降雨、蒸发、产汇流等因子也不同,进而导致构建洪水预报模型优选指标选取的复杂性。因此,选择科学合理的优选指标时必须综合考虑各方面因素,使优选指标的选取遵循科学合理、系统全面、实用可行的原则。

本研究优选指标的原则是优选指标体系结构的设计、指标的选取及指标的计算都应科学合理,有理有据。只有坚持科学合理的原则,获得的信息才能可靠、客观、合理,优选评价结果的可信度才高;优选指标体系应包括影响洪水预报因素的方方面面,使其成为一个系统,选取的指标越全面,其优选评价的结果越能接近真实的最优值;优选指标的设计应该概念明确、定义清楚,并且能方便地获取,指标的选择应考虑当前的科技水平,并且指标的选择不应太繁太细,否则会给优选评价工作带来不必要的麻烦。

1.2 优选指标体系建立的思路

根据前述指标选取原则,应用水文学相似性原理,假定认为洪水未发生前的降雨等实测序列能够体现未来可能发生洪水的某些特性,而历史中已发生的各场次洪水也有对应的降雨实测序列,依相似性原理在历史洪水中找出与当前洪水降雨量最相似的洪水,则各单项模型对这场洪水模拟的效果在未来可能重现。

另外,多模型优选指标体系的建立是否合理、全面、实用,关键在于选择对预报结果最为主要的影响因子作为优选指标。基于上述假定,本研究尝试将当前实测降雨量纳入多模型预报方案优选指标体系中,综合考虑洪水特征值在洪水预报中的重要性及各单项模型在历史洪水中模拟的综合表现,初步提出基于当前实测降雨量的一套多模型预报方案优选指标体系。

该指标体系涉及洪水特征值模拟精度、洪水过程模拟精度及历史洪水模拟合格率 3 个方面 5 个指标。其中洪水特征值模拟精度考虑了洪水的主要要素,具体优选指标体系见表 1。

表 1 多模型洪水预报方案的优选指标体系

Table 1 Multi-model flood forecast scheme optimization index system

影响因素 Influencing factor	指标 Index
洪水特征值模拟精度 Flood characteristic simulation accuracy	洪峰流量 Peak discharge
	峰现时间 Peak time
	总洪量 Total runoff volume
洪水过程模拟精度 Flood process simulation accuracy	确定性系数 Deterministic coefficient
历史洪水模拟合格率 Historical flood simulation qualified rate	合格率 Qualified rate

1.3 优选指标的计算

对于当前预报时刻,有一个实测的降雨量;历史洪水资料中的每一场洪水也都对应于一个实测的降雨量。按相似度计算公式,找出与当前最为相似的降雨量,其公式如下:

$$\gamma_i = 1 - \left| \frac{P - P_i}{P_{\max} - P_{\min}} \right| \quad (1)$$

式中: γ_i 为当前降雨量与第 i 场次洪水对应降雨量的相似度($\gamma_i \in [0, 1]$), P 为当前要预报的洪水的实测降雨量, P_i 为第 i 场洪水对应的降雨量, $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ 为历史洪水对应降雨量的最大值和最小值。

进行相似度计算时,首先将预报洪水的实测降雨量 P 放入历史洪水对应的降雨量序列中,进行降雨量大小排序,得到 $P_{\max}$ 和 $P_{\min}$,然后按上式进行计算,得到当前要预报的洪水的实测降雨量与历史中每场洪水对应降雨量的相似度。

对历史中的每场洪水,均可按公式(1)计算得到对应的降雨相似度 γ_i ,从中选出最大值,则其对应的历史洪水即为最相似洪水,以下称“备用洪水”。

多模型洪水预报优选指标体系中各优选指标的计算公式如下:

1)合格率。一次预报的误差小于许可误差时,为合格预报。合格预报次数占总预报次数的百分比为合格率,它表示多次预报总体的精度水平。合格率按下式计算:

$$QR = \frac{n}{m} \times 100\% \quad (2)$$

式中:QR 为合格率(取 1 位小数), n 为合格预报次数, m 为总预报次数。

在综合集成平台中快速搭建各单项预报模型,对目标流域历史中的每一场洪水进行模拟,并按水文情报预报规范(GB/T 22482—2008)中的相关规定计算预报误差,并与许可误差作比较,统计合格次

数,最后按公式(2)计算合格率。

2)洪峰流量模拟精度。用各单项预报模型对备用洪水进行模拟,并计算各模型对洪峰流量的模拟相对误差值 e_q ,令:

$$A_{qi} = \begin{cases} 1 - |e_{qi}|, & 0 \leq |e_{qi}| \leq 1; \\ 0, & |e_{qi}| \geq 1. \end{cases} \quad (3)$$

式中: A_{qi} 为第 i 项预报模型对洪峰流量的模拟精度($A_{qi} \in [0, 1]$); e_{qi} 为第 i 项预报模型对洪峰流量模拟的相对误差, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

另外,对于具有多个洪峰的洪水过程,本研究采用多个洪峰流量模拟精度的均值作为洪峰流量的模拟精度。

3)峰现时间模拟精度。用各单项预报模型对备用洪水进行模拟,并计算各模型对峰现时间的模拟相对误差值 e_t ,令:

$$A_{ti} = \begin{cases} 1 - |e_{ti}|, & 0 \leq |e_{ti}| \leq 1; \\ 0, & |e_{ti}| \geq 1. \end{cases} \quad (4)$$

式中: A_{ti} 为第 i 项预报模型对峰现时间的模拟精度($A_{ti} \in [0, 1]$); e_{ti} 为第 i 项预报模型对洪峰流量出现时间模拟的相对误差, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

同样,对于具有多个洪峰的洪水过程,本研究采用多个洪峰峰现时间模拟精度的均值作为洪峰峰现时间的模拟精度。

4)总洪量模拟精度。用各单项预报模型对备用洪水进行模拟,并计算各模型对总洪量模拟相对误差值 e_w ,令:

$$A_{wi} = \begin{cases} 1 - |e_{wi}|, & 0 \leq |e_{wi}| \leq 1; \\ 0, & |e_{wi}| \geq 1. \end{cases} \quad (5)$$

式中: A_{wi} 为第 i 项预报模型对总洪量的模拟精度($A_{wi} \in [0, 1]$); e_{wi} 为第 i 项预报模型对总洪量模拟的相对误差, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

5)确定性系数。确定性系数为洪水预报过程与实测过程之间的吻合程度,计算公式为:

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [y_{ci} - y_{oi}]^2}{\sum_{i=1}^N [y_{oi} - \overline{y_o}]^2} \quad (6)$$

式中:DC 为确定性系数(取 2 位小数); y_{ci} 为 i 时刻的预报值, m^3/s ; y_{oi} 为 i 时刻的实测值, m^3/s ; $\overline{y_o}$ 为实测值的均值, m^3/s ; N 为资料系列长度。

2 基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案优选方法的建立

DS 证据理论是由美国哈佛大学数学家 Dempster^[12] 提出,并由他的学生 Shafer^[13] 进一步发展而

来的一套基于“证据”和“组合”来处理不确定性推理问题的数学方法^[14]。由于证据理论中所需的先验数据比较直观,容易获得,且 Dempster 合成公式能够综合不同专家或数据源的知识或数据,这使得证据理论在专家系统、信息融合等领域中得到了广泛应用^[15]。传统典型的 Dempster 合成规则要求证据必须是独立的,而这有时不易满足,因此本研究参考文献^[16]利用一种新的基于证据可信度的 DS 证据理论合成方法来进行多模型洪水预报的优选与决策,该方法可以避免证据的冲突问题,从而得到较为可信的优选结果。

2.1 基于可信度的 DS 证据理论的合成

定义 H 为 2 个证据 E_1 和 E_2 的一致量, C 为 2 个证据 E_1 和 E_2 的冲突量, m_1 和 m_2 分别为 2 个证据 E_1 和 E_2 相应的基本信任分配函数, M_i 和 M_j 分别为 2 个证据 E_1 和 E_2 相应的焦元,则冲突度判定公式为:

$$\begin{cases} C > H, \text{冲突;} \\ C \leq H, \text{一致。} \end{cases} \quad (7)$$

式中:一致量 $H(E_1, E_2) = \sum_{M_i=M_j} m_1(M_i)m_2(M_j)$,冲突量 $C(E_1, E_2) = \sum_{M_i \cap M_j = \Phi} m_1(M_i)m_2(M_j)$ 。

定义证据 E_i 和 E_j 的相似系数 d_{ij} 为:

$$d_{ij} = \frac{\sum m_i(M_k)m_j(M_k)}{\sqrt{(\sum m_i^2(M_k))(\sum m_j^2(M_k))}} \quad (8)$$

式中: $M_k = M_i \cap M_j$ 。

则有相似矩阵

$$S = \begin{bmatrix} 1 & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & 1 & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

对上述相似矩阵按行求和,可得每个证据被其他证据支持的力度,即:

$$\text{Sup}(m_i) = \sum_{j=1}^m d_{ij}; i, j = 1, 2, \cdots, m. \quad (10)$$

式中: $\text{Sup}(m_i)$ 表示证据 i 被其他证据所支持的程度。

对证据的支持度进行正则化,可得证据 i 的可信度为:

$$\text{Crd}(m_i) = \frac{\text{Sup}(m_i)}{\sum_{i=1}^m \text{Sup}(m_i)}, i = 1, 2, \cdots, m. \quad (11)$$

式中: $\text{Crd}(m_i)$ 为证据 i 的可信度。

由上述公式可知所有证据的可信度之和为 1,因此可将可信度看作证据的权重,则合成方法即预

报模型可信度 $m(M_i)$ 的计算公式如下:

$$m(M_i) = \sum_{i=1}^m m_i(M_i) \text{Crd}(m_i). \quad (12)$$

2.2 基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案优选模式的计算流程

多模型优选洪水预报模式的提出是一种基于流域采用多个洪水预报模型的前提下,通过选取合理可行的优选指标,运用 DS 证据理论,对多个预报结果及方案进行优选的新模式。基于水文相似性原理,建立综合考虑模型统计参数和水文相似性的多模型预报方案优选指标体系,基于 DS 证据理论,对模型可信度进行合成和决策优选,以实现多模型优选洪水预报。

基于前文阐述的 DS 证据理论,可以发现通过优选指标体系能够方便地将各单项模型预报出的洪水特征值结果集与 DS 证据理论进行耦合,具体方法如下:可以将本研究中第 1 节所述的各模型对应的不同指标视为不同的证据集,按第 1 节的指标计算公式计算出各指标值,其可视为各证据的基本信任分配函数,为统一单位,其中合格率均以小数形式表示;各模型即为各证据对应的焦元。那么可以按上述证据合成规则来计算各证据的可信度,进而合成计算出各模型的可信度,从而可得各模型预报方案的优劣排序。

综上所述,基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案优选模式的计算流程图如图 1 所示。

3 实例应用

东洋河位于黄河左岸,距小浪底大坝 30.2 km,流域面积 571 km²,河道长 60 km,年平均流量 2.89 m³/s。本研究以东洋河为例,假若当前有一场大的降雨,估计下游会遭遇暴雨,那么进行洪水预报时,选用何种模型即为本研究所要解决的问题。

先依公式(1)计算历史中各场洪水与当前预报洪水降雨量的相似度,从中筛选出相似度最大的一场洪水,对于历史资料丰富的地区,很容易做出选择,为研究方便,本例假设该最大相似洪水为 1982-08 的 1 次洪水;再用新安江模型(XAJ)、萨克拉门托模型(Sacramento)、水箱模型(Tank)、陕北模型(SB)等各单项预报模型对该场洪水进行模拟,表 2 即为东洋河的实测流量过程与各单项模型的预报模拟流量过程。

依公式(2)~(6)分别计算各模型下的指标值,即各证据在各自对应焦元下的基本信任分配函数

值,从而构成证据的基本信任分配函数表(表 3)。

采用公式(7)判断各证据间是否冲突,因篇幅所限,在此不再赘述(可参考文献[16])。通过式(8)、

(9)、(10)、(11)分别计算各证据的被支持度 $\text{Sup}(m_i)$ 及可信度 $\text{Crd}(m_i)$,并由式(12)进一步得出各证据的合成结果,分别为:

相似矩阵为:
$$\mathbf{S}_{1,2,3,4,5} = \begin{bmatrix} 1 & 0.994\ 6 & 0.984\ 9 & 0.998\ 6 & 0.990\ 5 \\ 0.994\ 6 & 1 & 0.995\ 8 & 0.990\ 2 & 0.998\ 6 \\ 0.984\ 9 & 0.995\ 8 & 1 & 0.982\ 4 & 0.997\ 1 \\ 0.998\ 6 & 0.990\ 2 & 0.982\ 4 & 1 & 0.986\ 3 \\ 0.990\ 5 & 0.998\ 6 & 0.997\ 1 & 0.986\ 3 & 1 \end{bmatrix}。$$

各证据的被支持度为: $\text{Sup}(m_{1,2,3,4}) = [4.968\ 5$
 $4.979\ 2\ 4.960\ 2\ 4.957\ 5\ 4.972\ 5]$ 。

各证据的可信度为: $\text{Crd}(m_{1,2,3,4}) = [0.200\ 0$
 $0.200\ 5\ 0.199\ 7\ 0.199\ 6\ 0.200\ 2]$ 。

则由公式(12)可得各预报模型的可信度分别为:

$m(\text{XAJ}) = 0.758\ 7, m(\text{Sacramento}) = 0.906\ 6,$

$m(\text{Tank}) = 0.838\ 4, m(\text{SB}) = 0.859\ 1。$

由于各预报模型的可信度 $m(\text{Sacramento}) > m(\text{SB}) > m(\text{Tank}) > m(\text{XAJ})$,则推荐多模型洪水预报方案由优到劣的次序依次为:萨克拉门托模型、陕北模型、水箱模型、新安江模型,并认为采用萨克拉门托模型模拟当前洪水最为合适。

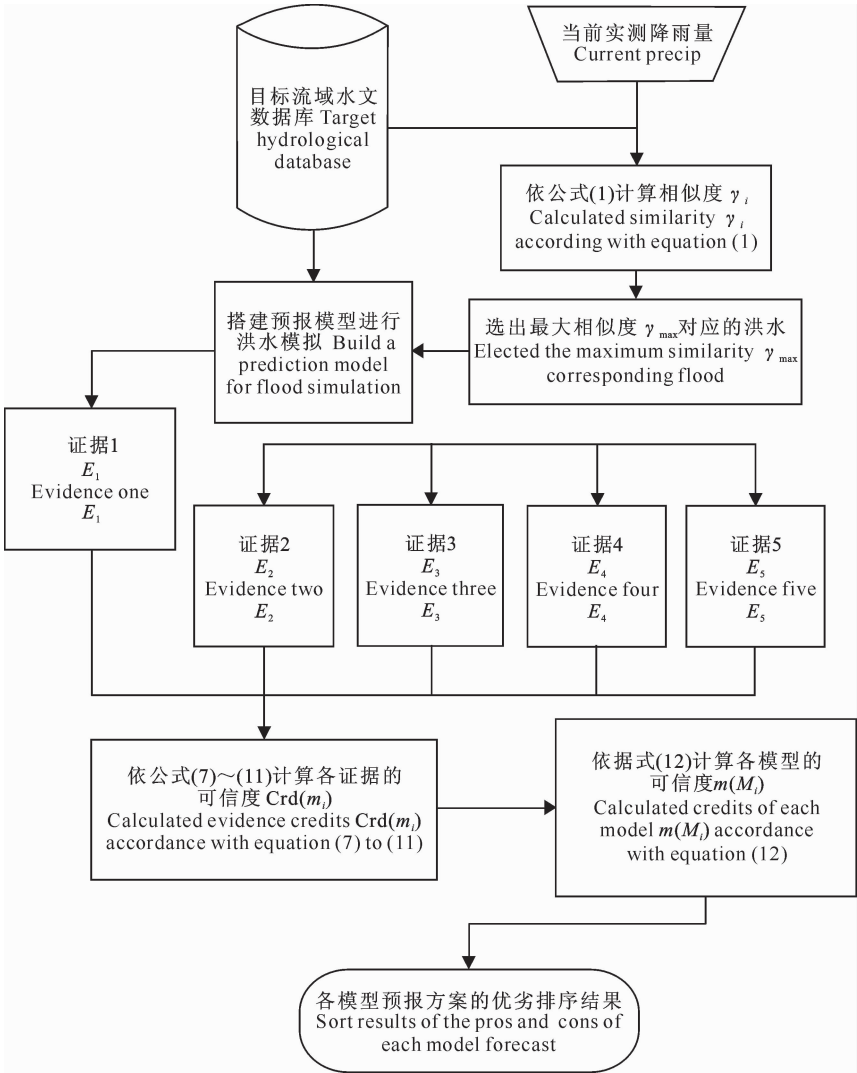


图 1 基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案的优选流程
Fig. 1 Flow chart of multi-model flood forecasting scheme optimization based on DS evidence theory

表 2 东洋河实测流量与各单项模型模拟流量的比较

Table 2 Measured flow and single model simulation flow of Dongyang River

m³/s

测定时刻 Measure time	实测值 Actual values	新安江 XAJ	萨克拉门托 Sacramento	水箱 Tank	陕北 SB
1982-08-01 02:00	42.4	48.792 0	38.648 9	2.240 0	4.409 3
1982-08-01 04:00	275	443.535 0	120.163 6	104.770 0	43.756 1
1982-08-01 06:00	333	1 181.162 2	147.363 6	709.100 0	249.682 5
1982-08-01 08:00	672	1 486.873 2	482.956 2	990.860 0	755.408 5
1982-08-01 10:00	876	1 250.454 5	1 001.978 8	762.760 0	1 037.233 4
1982-08-01 12:00	677	763.505 8	751.014 5	484.820 0	636.941 7
1982-08-01 14:00	571	385.506 8	412.915 7	226.090 0	271.751 8
1982-08-01 16:00	423	186.563 6	215.629 1	205.870 0	85.562 0
1982-08-01 18:00	327	233.798 7	211.537 8	167.820 0	116.050 8
1982-08-01 20:00	280	257.964 2	263.146 3	199.830 0	138.693 5
1982-08-01 22:00	248	377.645 4	390.658 1	230.750 0	257.680 2
1982-08-02 00:00	412	410.111 1	424.360 3	248.300 0	290.875 0
1982-08-02 02:00	1 170	1 105.667 7	1 121.107 2	1 542.250 0	987.483 3
1982-08-02 04:00	2 235	2 347.217 4	2 363.805 4	1 797.450 0	2 230.041 7
1982-08-02 06:00	1 070	1 743.616 8	1 761.301 8	937.490 0	1 627.408 3
1982-08-02 08:00	720	606.039 1	624.776 6	502.390 0	490.758 3
1982-08-02 10:00	485	254.607 8	297.985 1	261.750 0	154.782 0
1982-08-02 12:00	395	84.775 6	183.451 1	176.240 0	21.672 3
1982-08-02 14:00	320	50.888 5	165.429 0	128.850 0	2.141 1
1982-08-02 16:00	231	110.904 5	165.384 9	166.240 0	66.172 0
1982-08-02 18:00	196	157.014 6	166.933 2	111.300 0	125.887 0
1982-08-02 20:00	180	84.318 7	166.084 9	111.890 0	40.215 3
1982-08-02 22:00	162	90.711 4	165.558 1	91.380 0	38.955 7
1982-08-03 00:00	138	57.944 9	163.795 8	90.180 0	7.676 3

表 3 各证据在各自对应焦元下的基本信任分配函数表

Table 3 Basic trust distribution function table of evidence under their corresponding focal elements

证据 Evidence	新安江 XAJ	萨克拉门托 Sacramento	水箱 Tank	陕北 SB
合格率 E_1 Qualified rate E_1	0.850 0	0.850 0	0.850 0	0.850 0
洪峰流量模拟精度 E_2 Peak discharge simulation accuracy E_2	0.626 2	0.899 3	0.836 6	0.906 9
峰现时间模拟精度 E_3 Peak time simulation accuracy E_3	0.900 0	1.000 0	0.900 0	1.000 0
总洪量模拟精度 E_4 Total runoff volume simulation accuracy E_4	0.897 0	0.949 2	0.824 1	0.778 3
确定性系数 E_5 Deterministic coefficient E_5	0.519 5	0.834 4	0.781 2	0.759 7

4 讨 论

本研究将 DS 证据理论应用于多模型洪水预报方案的优选,初步建立了多模型洪水预报情形下的优选指标体系,并在此基础上,以东洋河流域为例进行了实例验证。

1)多模型洪水预报情形下优选指标体系的建立考虑了与洪水关系密切的 3 个主要特征值,即洪峰流量、峰现时间及洪水总量,抓住了洪水的本质特征;并且从预报模型的角度,将合格率与确定性系数纳入优选指标体系,考虑了预报模型在历史模拟中

的综合表现。

2)在模型优选上区分“事前”“事后”指标,克服了以往研究中“事前”与“事后”指标不分的缺陷,并将基于证据可信度的 DS 证据理论应用到洪水预报模型的优选中,有效地避免了证据冲突可能带来的误合成。

综上,基于 DS 证据理论的多模型洪水预报方案优选结果可行,可以给决策者提供一个更为客观、科学、合理的方案优劣排序,方便决策者及时做出正确合理的决策,进一步丰富和完善了多模型洪水预报方法。

[参考文献]

- [1] 李春华,李 宁,李 建,等.洪水灾害间接经济损失评估研究进展[J].自然灾害学报,2012,21(2):19-27.
Li C H, Li N, Li J, et al. Review of research progress in indirect economic loss estimation of flood damage [J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(2): 19-27. (in Chinese)
- [2] 蔡 阳,汪 妮,张永进,等.中间件技术在多模型洪水预报WEB中的应用[J].水利学报,2005,36(3):350-354.
Cai Y, Wang N, Zhang Y J, et al. Componentized model of flood forecast and its application [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(3): 350-354. (in Chinese)
- [3] 张 刚,解建仓,罗军刚.洪水预报模型组件化及应用[J].水利学报,2011,42(12):1479-1486.
Zhang G, Xie J C, Luo J G. Componentized model of flood forecast and its application [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(12): 1479-1486. (in Chinese)
- [4] 杨实俊,刘健夫.模糊优选考核方法在企业人力资源管理中的应用[J].华北电力大学学报,2007,34(4):110-112.
Yang S J, Liu J F. Fuzzy selection examination for management of enterprise human resource [J]. Journal of North China Electric Power University, 2007, 34(4): 110-112. (in Chinese)
- [5] 钱松荣.灰色可靠性设计在机械产品优选中的应用[J].现代农业科技,2010(17):23-24,26.
Qian S R. Application of evaluation of mechanical products based on gray reliability design [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010(17): 23-24, 26. (in Chinese)
- [6] 邹永红,谭建林.基于属性差异度的多属性决策方法及其在水稻优选中的应用[J].安徽农业科学,2011,39(25):15228-15229,15232.
Zou Y H, Tan J L. Multiple attribute decision making method based on the attribute difference and its application in rice preference [J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2011, 39(25): 15228-15229, 15232. (in Chinese)
- [7] 鄢洪林,邢 闻.多目标模糊优选模型在风险型投资决策中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2010(1):21-24.
Yan H L, Xing W. The application of multi-objective fuzzy optimization model in risk investment decisions [J]. Journal of Inner Mongolia Coal Economy, 2010(1): 21-24. (in Chinese)
- [8] 王文鹏,李春红,王建平.洪水预报系统中实时校正模型的优选方法[J].水电厂自动化,2012,33(1):63-68.
Wang W P, Li C H, Wang J P. Optimal selection method of real-time correction model in flood forecasting system [J]. Hydropower Plant Automation, 2012, 33(1): 63-68. (in Chinese)
- [9] 陈宁珍.应用多目标多功能模糊模型优选水利枢纽工程参数[J].河海大学学报,1993,21(5):86-93.
Chen N Z. Selecting optimal parameters for water conservancy projects by means of a multi-objective and multipurpose fuzzy model [J]. Journal of Hohai University, 1993, 21(5): 86-93. (in Chinese)
- [10] 杨开云,王 亮,冯 卫,等.基于熵权的模糊评价模型在方案优选中的应用[J].人民黄河,2008,30(6):65-66.
Yang K Y, Wang L, Feng W, et al. The application of fuzzy evaluation model based on entropy weight in scheme optimization [J]. Yellow River, 2008, 30(6): 65-66. (in Chinese)
- [11] 闫毅志,李 玲.模糊优选模型在流域梯级水电开发中的应用[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(10):139-142.
Yan Y Z, Li L. Application of fuzzy optimization pattern in hydropower development of multi-level valley [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2005, 33(10): 139-142. (in Chinese)
- [12] Dempster A P. Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping [J]. Annals of Mathematical Statistics, 1967, 38(2): 325-339.
- [13] Shafer G. A mathematical theory of evidence [M]. Princeton: Princeton University Press, 1976.
- [14] 刘晓光,胡学钢.DS证据理论在决策支持系统中的应用[J].计算机系统应用,2010,19(10):112-116.
Liu X G, Hu X G. Application of DS evidence theory to DSS [J]. Computer Systems & Applications, 2010, 19(10): 112-116. (in Chinese)
- [15] 周 勇.基于粗糙集与证据理论的信息融合研究[D].长沙:中南大学,2008.
Zhou Y. Research on information fusion based on rough set and evidence theory [D]. Changsha: Central South University, 2008. (in Chinese)
- [16] 曹晓军,彭会萍.基于证据可信度的DS证据理论合成规则[J].微计算机信息,2012,28(7):93-94,77.
Cao X J, Peng H P. Combination rule of DS evidence theory based on evidence's credibility [J]. Microcomputer Information, 2012, 28(7): 93-94, 77. (in Chinese)